

報告 1 液エポキシ樹脂接着剤を用いたコンクリートの接着強度

池田正志^{*1}・武田敏充^{*2}・小谷 洋^{*3}・辻 幸和^{*4}

要旨：プレキャストセグメント工法やプレキャストコンクリート部材の接合に用いるエポキシ樹脂系接着剤として、従来の2液タイプと異なる1液タイプの接着剤を用いたモルタルおよびコンクリートの接着強度を実験した結果を報告する。実験の要因は、モルタルあるいはコンクリート中の水分率、養生温度、オープンタイムなどであるが、水分率が多いほど、また養生温度が高いほど接着強度の発現が早く、養生温度が20℃の場合1日の養生日数でモルタルあるいはコンクリートの母材強度を超えることが確かめられた。養生温度が5℃で水分率が5%の場合でも、養生日数が2週間で母材強度以上の接着強度が得られた。

キーワード：接着剤、プレキャストコンクリートの接着、1液エポキシ樹脂、養生温度、水分率、オープンタイム

1. まえがき

プレキャストセグメント工法やプレキャストコンクリート部材の接合には、従来2液エポキシ樹脂系接着剤が用いられてきた¹⁾。その品質は、土木学会規準 JSCE-H 101「プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着剤（橋げた用）品質規格（案）」にも規定されている²⁾。この接着剤は、使用時に主剤と硬化剤を混合する工程が必要で、大量に混合すると硬化発熱が顕著になり、可使時間の短縮することが懸念されている。

1液エポキシ樹脂接着剤は、大気中あるいはコンクリート中の水分と反応して硬化する湿気硬化タイプの構造用接着剤である。混合の工程が無い場合、多量に使用する場合でも可使時間が変化しないなどの作業性に優れているが、これまで、コンクリート用の接着剤として適用した研究成果は報告されていない。

本研究は、プレキャストコンクリートの接着に用いることを目標にして行った1液エポキシ

樹脂接着剤のモルタルとコンクリートの接着強度に関する実験結果を報告するものである。実験の要因は、養生日数、モルタル中の水分率、養生温度、オープンタイム、コンクリートの断面寸法および接着時の圧縮応力度である。

2. 1液エポキシ樹脂接着剤の品質

1液エポキシ樹脂接着剤の品質として、土木学会規準 JSCE-H 101により求めた試験値を表-1に示す。JSCE-H 101は、2液エポキシ樹脂系接着剤を対象とするものである。

外観は白色のペースト状であり、粘度が少し大きい分、だれ最小厚さが大きい。硬化した接着剤の品質のうち、引張せん断接着強さの試験値は示していない。この試験は2枚の鋼板の間に接着剤を塗布して硬化させた後に引張試験を行って算出する方法であるが、1液エポキシ樹脂は水分と反応して硬化する特性を有しているため、試験が出来ない課題を残している。それ以外の硬化した品質は、いずれも、JSCE-H101

*1 群馬大学技術官 工学部建設工学科（正会員）

*2 横浜ゴム㈱事業開発推進室

*3 横浜ゴム㈱事業開発推進室

*4 群馬大学教授 工学部建設工学科 工博（正会員）

表－１ １液エポキシ樹脂接着剤の品質

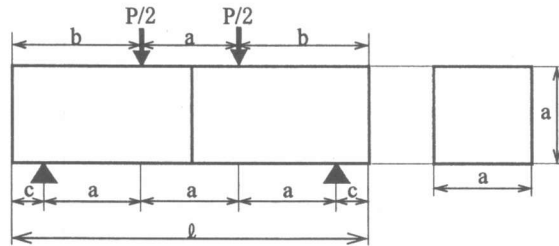
	品質項目	品質規格	試験値		備考
			標準形	遅延形	
未硬化の接着剤	外 観		白色ペースト状		
	粘 度 (mPa・s)	$10^4 \sim 10^5$	4×10^5	4×10^5	JIS K 6833
	可使時間 (時間)	2 以上	4	6	20℃×60% RH
	だれ最小厚さ (mm)	0.3以上	1	0.7	
硬化した接着剤	比 重	1.1 ～ 1.7	1.33	1.30	JIS K 7112
	引張強さ (N/mm ²)	12.5以上	16.4	15.6	JIS 1 号ダンベル
	圧縮強さ (N/mm ²)	50.0以上	112	110	20℃で養生
	引張せん断接着強さ (N/mm ²)	12.5以上	— *		20℃で養生
	接着強さ (N/mm ²)	6.0以上	9.2	8.9	JIS A 6024

* 水分と反応して硬化するため、鋼板の供試体では試験が不可能

の品質を満足している。

３．実験の概要

モルタルは、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じて作製した断面が40×40mm で長さが80mm のものを用いた。接着して長さが160mm の供試体に作製するものである。接着面を#80のサンドペーパーで削り、両面に1液エポキシ樹脂接着剤をはけで約1mm 塗布した。オープンタイムを一般には2時間とり、一般には圧縮応力度にして0.3N/mm²で締めつけて、所定の時間養生した。その後、図－１に示すように、スパンが120mm の3等分点載荷により曲げ強度試験を行った。その時の曲げ強度を、接着強度と称する。そして、破断面の状況を記録した。



供試体の名称	断面寸法 a×a (mm)	a (mm)	ℓ (mm)	b (mm)	c (mm)	モルタル または コンクリート
M40	40×40	40	160	60	20	モルタル
C100	100×100	100	400	150	50	コンクリート
C150	150×150	150	500	175	25	
C300	300×300	300	1000	350	50	

図－１ 断面寸法が異なる供試体の載荷方法

コンクリートとしては、断面が100×100mm で長さが200mm のもの、断面が150×150mm で長さが250mm のもの、および断面が300×300mm で長さが500mm のものをそれぞれ用いた。2個

の端面を接着して、長さがそれぞれ2倍の供試体を作製した。曲げ強度試験は、JIS A 1106に準じて、曲げモーメント一定区間をそれぞれ断面の高さとした、3等分点載荷とした。

モルタルは、水セメント比が65%，砂とセメントの質量比が2のものをを用いた。セメントは普通ポルトランドセメントを、砂は ISO 標準砂を用いた。コンクリートは、目標圧縮強度が 50N/mm^2 のものについて、水セメント比が39%，単位水量が 151kg/m^3 ，細骨材率が43%，粗骨材の最大寸法が20mm で、スランプが12.0cm，空気が4.5%であった。

4. モルタル中の水分率の影響

モルタルを 100°C で30分間，180分間，240分間乾燥したものと乾燥しないものの端面の水分率

を，ケット製の水分率計で測定した。その後，約1時間デシケータ中で冷却した後に，接着剤を塗布した場合の曲げ強度試験の結果を図-2に示す。接着時の圧縮応力度は 0.3N/mm^2 である。接着剤塗布後は，温度が 20°C ，湿度が60% RH の部屋に保管した。モルタルの圧縮強度は材齢28日で $65.0\sim 67.5\text{N/mm}^2$ であった。

水分率が8.1%のモルタルは，養生日数が1日で接着強度にして 4.5N/mm^2 を上回っているが，水分率が5.6%では養生日数が3日で約 3N/mm^2

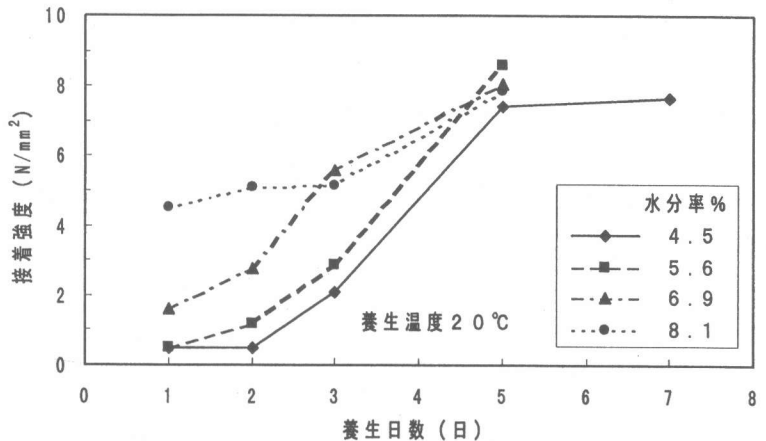


図-2 モルタルの水分率と接着強度の関係

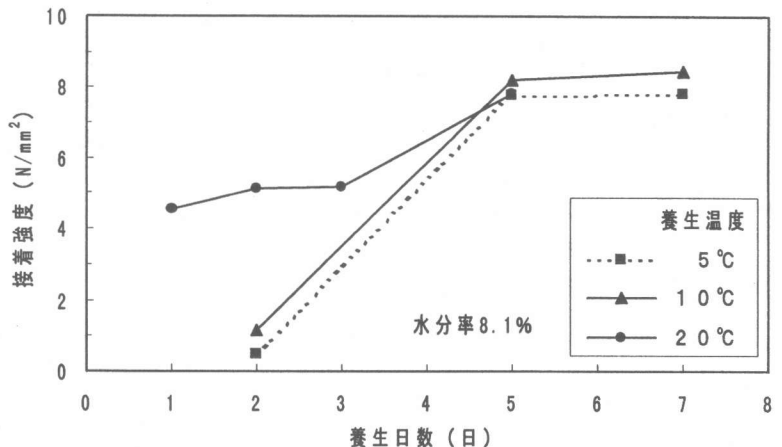


図-3 養生温度が異なるモルタルの接着強度

となった。そして水分率が4.5%では，接着強度は 2N/mm^2 しか発現しなかった。しかしながら，養生日数が5日に増えた場合には，水分率が小さいモルタルの強度増加が著しくて，モルタルの水分率の影響は4.5%から8.1%の範囲でほとんど無くなり，すべてのモルタルが母材で破壊して，接着強度で 8N/mm^2 を超えている。

5. 養生温度の影響

1 液エポキシ樹脂接着剤を， 5°C と 10°C の養

生オープンに入れ
て24時間保管した
のち、モルタルを
接着し、それぞれの
温度で7日まで
養生した時の接着
強度を、図-3に
示す。モルタルの
40×40mm の端面
には、接着剤を1mm
の厚さで塗布し、
2時間のオープン
タイムをとって、
曲げ強度試験の
直前まで圧縮応
力度が0.3N/mm²
で保持した。

養生温度が20℃
の場合は、1日の
養生で4.5N/mm²の
接着強度となっ
た。その後の養生
中の接着強度の発
現は小さいが、養
生日数が5日でモ
ルタルの母材破壊
となり、接着強度
で8N/mm²に近づい
た。

養生温度が5℃

と10℃のいずれとも、養生日数が2日では小さい接着強度となったが、5日まで養生すると、20℃で養生した場合と同様に、モルタルの母材破壊となった。その場合でも、養生温度が5℃のほうが10℃よりも、少し小さい強度となった。

水分率が約4.5%と低くモルタルの接着強度の発現が小さい場合について、接着後の養生条件を変えた実験を行った。図-4にこの場合の接着強度を示す。35℃の養生では、1日で母材破壊し8.5N/mm²を超える接着強度が得られた

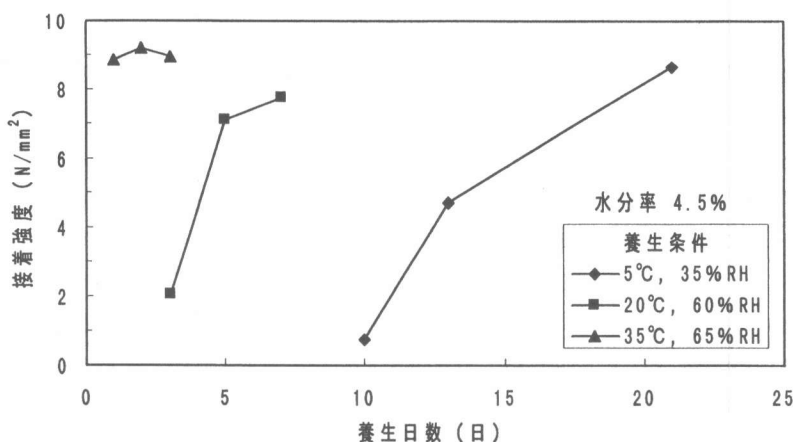


図-4 低水分率のモルタルの接着強度

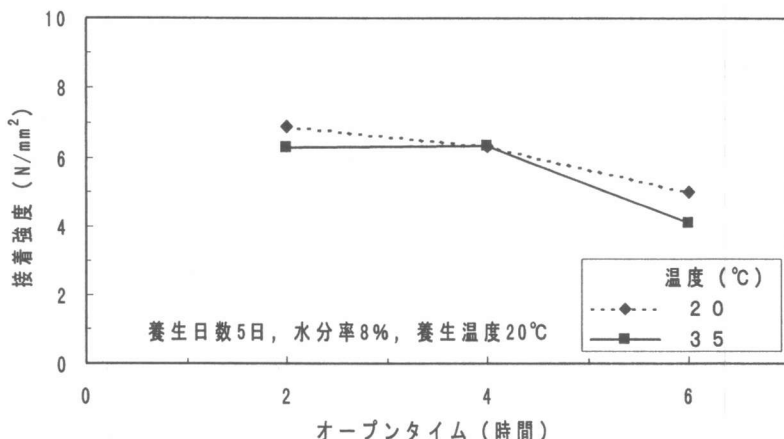


図-5 オープンタイムが接着強度に及ぼす影響

が、養生温度が低くなると接着強度の発現は遅れた。その場合でも、5℃の低温下の養生においても2週間で5N/mm²、3週間で9N/mm²程度の接着強度を示した。このことは、低温の場合でも接着強度の発現が遅れるだけで、養生日数を多くとると母材破壊させる接着強度が得られることが確かめられた。

6. オープンタイムの影響

接着剤を塗布して両端面を接着するまでの時

表－２ コンクリートの接着強度

供試体の名称		C 100		C 150	C 300
断面寸法 (mm)		100×100		150×150	300×300
圧縮強度 (N/mm ²)		2 0	1 0 0	5 0	5 0
養生 日 数 (日)	1	1. 1 4	1. 2 8	1. 1 3	—
	2	—	—	4. 5 5	—
	3	2. 7 0	6. 4 7	4. 8 4	5. 4 5* 4. 8 5**
	6	—	—	4. 6 4	—

* 接着時の圧縮応力度 4 N/mm²** 接着時の圧縮応力度 0. 2 N/mm²

間であるオープンタイムが、モルタルの接着強度に及ぼす影響を検討した。大断面の構造物では、オープンタイムを長くとれることが、接着施工の容易さと信頼性に優れている要件である。オープンタイムの影響を顕著にモデル化するため、モルタルについての片面塗布の場合を実験した。塗布後の温度と湿度を、20℃で55% RHと35℃で65% RHのそれぞれについて、オープンタイムを6時間までの3水準に採った。

接着剤の塗布後養生日数が5日の接着強度を図－５に示す。表－１に示すオープンタイムを長くとれるタイプの遅延形接着剤を用いた場合である。片面塗布のため、両面塗布の場合に比べて、接着強度の値は少し小さくなっている。

図－５より、オープンタイムが長くなるほど、接着強度は小さくなり、その傾向は、オープンタイム時の温度が高いほど顕著になることが確かめられた。しかしながら、オープンタイムが4時間までは、20℃と35℃の温度でもほとんど接着強度の低下は認められなかった。

7. コンクリートの接着強度

断面が100×100mm, 150×150mm, 300×300mmのコンクリート供試体について、接着強度を求めた(図－１参照)。断面が100×100mm

のC100供試体では圧縮強度が20N/mm²と100N/mm²の2種類、C150とC300ではコンクリートの圧縮強度が50N/mm²についてである。

接着後の養生はC300が温度10～15℃の実験室内であることを除き、温度が20℃で湿度が55% RHの恒温恒湿室内である。コンクリートの接着面のレイタンスをサンドペーパーで除いた後、接着剤を約1mmの厚さで両面に塗布した。接着時の圧縮応力度は、C100とC150では2N/mm²と一定にしたが、断面が300×300mmのC300では0.2N/mm²と4N/mm²に変化した。接着時のコンクリートの水分率は、いずれの供試体とも4.0～5.0%であった。

接着強度を表－２にまとめて示す。接着後の養生が1日では、1.2～1.3N/mm²の接着強度となり、破断箇所は接着剤であった。これらの値は、母材コンクリートの圧縮強度が20N/mm²から100N/mm²に増加しても、供試体の断面が100×100mmと150×150mmのいずれでも、ほぼ等しい値となった。C150では、養生日数が2日になると、接着強度が4.6N/mm²と急激に増加し、母材のコンクリートで破壊した。その後、養生日数が3日、6日と増加させても、母材のコンクリートで破壊しているため、接着強度は4.7～4.9N/mm²とほとんど増加していない。

断面が $100 \times 100 \text{ mm}$ のC100では、養生日数が3日で、それぞれ母材強度が異なるコンクリートが破壊し、接着強度として表示される値は、コンクリートの圧縮強度に対応して 2.7 N/mm^2 と 6.5 N/mm^2 となった。これらの値は、養生温度が 20°C の場合に養生日数が2日でも得られることが、C150より推測できる。

断面が $300 \times 300 \text{ mm}$ のC300の場合は、養生日数が3日の接着強度しか得られていないが、コンクリートの母材破壊で約 5 N/mm^2 を超える値を示した。なお、接着時の圧縮応力度を 0.2 N/mm^2 から 4 N/mm^2 に増加しても、コンクリートが母材破壊したこともあり、接着強度にはほとんど変化がなかった。

8. まとめ

従来の2液エポキシ樹脂系接着剤と異なる1液エポキシ樹脂接着剤を用いて接着したモルタルとコンクリートの接着強度を、曲げ強度試験により求めた。本実験の結果から、次のことがいえる。

- (1) 1液エポキシ樹脂は水分と反応して硬化するため、接着面の水分率が8%までの範囲で多いほど、早期に接着強度が発現する。接着剤の養生温度が 20°C の場合、水分率が8%では1日で 4.5 N/mm^2 の接着強度が得られ、また水分率が4.5%と少ない場合では2週間の養

生日数があれば、水分率が8%のものとはほぼ等しい 8 N/mm^2 の接着強度が得られる可能性がある。

- (2) 接着剤の養生温度が低いほど、接着強度の発現は遅くなるが、水分率が8%と多い場合には、 5°C の養生温度で5日間養生すれば、 8 N/mm^2 の接着強度を得ることができた。
- (3) 温度が 35°C の条件下においても、遅延形の接着剤を塗布することにより、接着するまでの時間であるオープンタイムを4時間程度取ることができる。
- (4) 断面が $300 \times 300 \text{ mm}$ までのコンクリートについて、寸法効果と接着時の圧縮応力度が接着強度に及ぼす影響はほとんど認められなかった。

参考文献

- 1) 松田哲夫・湯川保之・木水隆夫：内外ケーブル併用プレキャストセグメント橋の概要と破壊試験—松山自動車道 重信川高架橋—，プレストレストコンクリート，Vol. 38, No. 2, pp. 29～39, MAR. -APL. 1996
- 2) JSCE—H 101—1993「プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着剤（橋げた用）品質規格（案）」，土木学会〔平成8年制定〕コンクリート標準示方書〔規準編〕，pp. 506～509, 1996. 3